Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science
Région du Golfe
Secrétariat canadien de consultation scientifique
Avis scientifique 2012/019

SEUILS DE TEMPÉRATURE PERMETTANT DE DÉFINIR LES STRATÉGIES DE GESTION POUR LA PÊCHE DU SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR*) DANS DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DIFFICILES

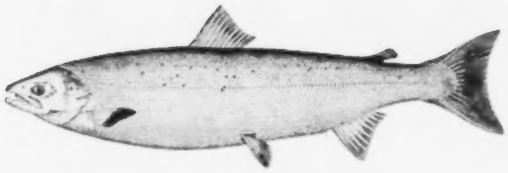

Figure 1 : Carte des provinces maritimes du Canada indiquant l'emplacement des rivières Miramichi et Restigouche.

Contexte :

*Les hautes températures de l'eau en été et les conditions de faible niveau d'eau et d'écoulement réduit sont souvent le lot des rivières à saumon atlantique (*Salmo salar*) dans les Maritimes : ces facteurs combinés créent un stress environnemental qui pèse assez gravement sur le saumon de montaison hâtive dans les rivières Miramichi et Restigouche au Nouveau-Brunswick. En juillet et en août, la température de l'eau dans les rivières du sud du golfe du Saint-Laurent peut dépasser 25 °C. À l'été 2010, les rivières Miramichi et Restigouche ont connu des températures de l'eau chaudes et des niveaux d'eau bas, ce qui a entraîné une contrainte thermique et la mortalité du poisson. Au cours des cinquante dernières années, on a annoncé cinq fermetures de pêche en cours de saison dans la rivière Miramichi (en 1987, en 1995, en 1999, en 2001 et en 2010). Ces fermetures correspondaient aux années affichant des conditions d'écoulement très faible et des températures de l'eau élevées. Durant ces années, on a interdit la pêche à la ligne dans des bassins et des emplacements précis par suite de préoccupations liées à des activités de pêche illégales.*

Les critères utilisés pour les fermetures aux fins de gestion dans la rivière Miramichi étaient spéciaux, ce qui a entraîné des retards quant à la prise de mesures de gestion et à des avantages réduits pour la ressource. La Gestion des pêches et de l'aquaculture du MPO (région du Golfe) a demandé qu'un avis soit formulé sur les seuils environnementaux permettant la gestion de la pêche du saumon atlantique. Une réunion régionale d'examen scientifique par des pairs a eu lieu le 15 mars 2012. Parmi les participants, on comptait des scientifiques du MPO et des gestionnaires des pêches de la région du Golfe, des Maritimes, de Terre-Neuve-et-Labrador, de la région du Centre et de l'Arctique, des gouvernements provinciaux, des experts universitaires, des organisations autochtones, des organismes de gérance des bassins hydrographiques et des groupes de conservation.

SOMMAIRE

- La tolérance à la température du saumon atlantique dépend de sa taille, les saumons adultes étant moins tolérants aux températures élevées que les saumons juvéniles.
- On en sait peu sur les températures optimales et critiques qui définissent la portée aérobique pour un saumon atlantique adulte et des inférences sont établies en fonction des preuves aux étapes de l'âge juvénile du saumon atlantique et d'autres espèces.
- Les seuils de température proposés sont basés sur des facteurs bioénergétiques. La température minimale quotidienne de l'eau (T_{min}) de 20 °C est proposée comme étant celle la plus importante pour le rétablissement physiologique et la survie du saumon atlantique.
- Le déclencheur proposé d'une fermeture est lorsque la température minimale de l'eau (T_{min}) pendant deux jours consécutifs est égale ou supérieure à 20 °C.
- Le déclencheur proposé d'une ouverture est lorsque la température minimale de l'eau (T_{min}) pendant deux jours consécutifs est inférieure à 20 °C.
- Les températures minimales moyennes de l'eau montrent une structure spatiale dans les rivières Miramichi et Restigouche selon le tronçon principal ou les sites des affluents et la distance par rapport à l'estuaire.
- La performance en matière de gestion des déclencheurs de fermeture et d'ouverture proposés peut être évaluée par évaluation rétrospective à l'aide de critères tels que le nombre de fermetures et la durée des fermetures.
- Le nombre de saumons vulnérables à la mortalité en raison des activités de pêche à la ligne dans les conditions d'eau chaude n'est pas connu. La mortalité en rivière du saumon atlantique adulte n'est pas systématiquement documentée dans la Miramichi ou Restigouche et les statistiques de pêche à la ligne à une échelle temporelle suffisante pour évaluer les effets potentiels de cette pêche pendant des périodes d'eau chaude ne sont pas disponibles.
- D'autres activités humaines peuvent faire se déplacer le poisson et contribuer au stress qui pèse sur le saumon atlantique pendant les périodes d'eau chaude, notamment le passage à gué dans les cours d'eau, la baignade dans les fosses, la circulation des bateaux et les activités scientifiques.

INTRODUCTION

Des mesures de gestion en cours de saison ont été introduites par le passé en vue de diminuer la mortalité du saumon atlantique (*Salmo salar*) capturé lors des pêches récréatives avec remise à l'eau par périodes d'eau chaude et de bas niveau d'eau. Dans certaines régions de l'est du Canada, il y a eu une augmentation de la fréquence des fermetures de pêches récréatives découlant directement de ces événements environnementaux.

La décision de gestion consistant à intervenir en cours de saison doit être prise en temps opportun. Certaines preuves irréfutables attestent que les mortalités accidentelles découlant de la pêche à la ligne avec remise à l'eau augmentent lorsque la température de l'eau excède 20 °C. On prévoit que les mortalités découlant d'un déplacement du saumon attribuable aux

suintements d'eau fraîche, aux efforts de pointe et à la nage très énergique, et au malaise général, augmenteront avec la température à la hausse.

La Gestion des pêches et de l'aquaculture du MPO (région du Golfe) a demandé qu'un avis soit formulé sur les questions suivantes :

- Quels seuils environnementaux pourraient être utilisés en vue d'assurer la prise de mesures de gestion permettant d'ouvrir ou de fermer la pêche du saumon atlantique?
- Étant donné l'étendue des rivières (Miramichi et Restigouche), quelles sont les options de gestion possibles pour la pêche du saumon atlantique dans des conditions environnementales difficiles?

Le présent avis scientifique a donc été élaboré en prenant en compte les points suivants :

- Information concernant la physiologie et information concernant les taux métaboliques du saumon atlantique, le lien de ces derniers avec le niveau ou la durée du stress (eau chaude) et les causes de la mortalité.
- Points de référence éventuels en matière de températures connexes à des probabilités/risques de mortalité accrus qui pourraient être utilisés pour déclencher des interventions de gestion (protocoles) dans des conditions environnementales difficiles pour le saumon atlantique.
- Caractéristiques (spatiales et temporelles) environnementales (température, écoulement ou niveau d'eau) des rivières Miramichi et Restigouche.
- Preuves attestant que les prises de saumon atlantique par pêche à la ligne sont vraisemblables par période d'eau chaude et que des interventions seraient possibles pour gérer la mortalité due aux prises accessoires au cours de cette pêche.
- Évaluation des options de gestion des pêches pour les rivières Miramichi et Restigouche, compte tenu de la fréquence et de la durée des interventions en matière de gestion.

ANALYSE

Bio-énergétique des poissons

Chez les poissons, la température régit les mécanismes métaboliques tels que les fonctions cardio-vasculaires. Le taux métabolique basal est une mesure de la dépense énergétique nécessaire pour maintenir les fonctions vitales telles que l'activité cardio-vasculaire. Le taux métabolique basal se mesure lorsque l'animal est au repos. Le taux métabolique basal est aérobie, c'est-à-dire que l'énergie est générée en combinant les aliments et l'oxygène. Le taux métabolique basal augmente de façon non linéaire avec l'augmentation de la température de l'eau jusqu'à un niveau maximal appelé taux métabolique actif. La différence entre le taux métabolique basal et le taux métabolique actif réside dans ce qu'on appelle le registre aérobie qui est l'énergie disponible pour d'autres fonctions du cycle de vie comme la nage, l'alimentation et la croissance, entre autres. Le registre aérobie est propre à l'espèce et à l'étape du cycle de vie, la capacité aérobie et la tolérance thermique étant moins élevées chez les poissons adultes que chez les poissons juvéniles.

La température optimale (T_{opt}) est définie comme la température qui assure le meilleur registre aérobie et par conséquent le plus haut niveau d'énergie disponible pour le métabolisme. T_{crit} correspond à la température d'effondrement total du registre aérobie. À mesure que la

température augmente de T_{opt} à T_{crit}, le registre aérobie diminue. Pendant cette phase, le métabolisme anaérobie, avec lequel l'énergie est générée sans combustion avec l'oxygène, contribue de plus en plus à répondre aux besoins énergétiques du poisson (figure 2). Au-delà de T_{crit}, la survie est limitée dans le temps, car les besoins métaboliques dépassent la capacité aérobie. Le métabolisme anaérobie demande beaucoup d'énergie et génère des sous-produits métaboliques cellulaires potentiellement dommageables tels que l'acide lactique. Seul un retour à des conditions dans lesquelles il y a un registre aérobie permettra à l'organisme de décomposer les sous-produits du métabolisme anaérobie.

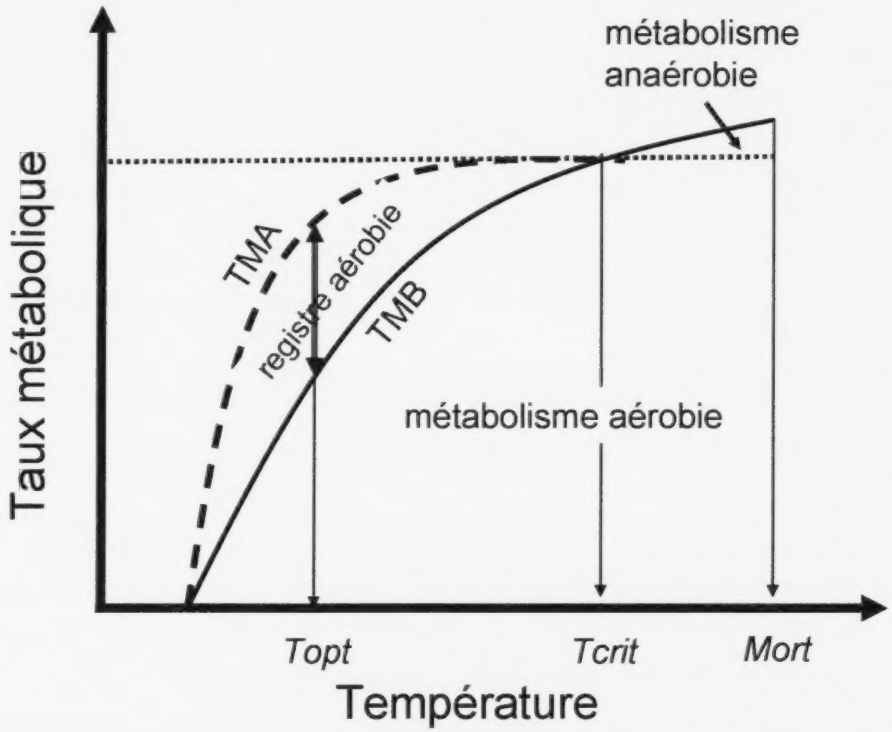

Figure 2 : Diagramme simplifié du lien entre le taux métabolique basal (TMB), le taux métabolique actif (TMA) et le registre aérobie par rapport à la température de l'eau pour le poisson. T_{opt} est la température à laquelle le registre aérobie (taux métabolique actif – taux métabolique basal) est maximal. T_{crit} est la température à laquelle le taux métabolique actif est égal au taux métabolique basal (le registre aérobie est nul). Tous les besoins énergétiques métaboliques en deçà du taux métabolique actif peuvent être réalisés par le métabolisme aérobie. Tous les besoins énergétiques métaboliques au-dessus du taux métabolique actif, lorsque la température est supérieure à T_{crit}, doivent être réalisés par le métabolisme anaérobie.

Tolérance du saumon atlantique aux températures

Les salmonidés (truite, saumon, omble) ont généralement la plus faible tolérance thermique par rapport à de nombreux groupes de poissons. Pour les saumons atlantiques juvéniles, la température létale initiale, définie comme la température que le poisson peut tolérer pendant longtemps (habituellement sept jours), est de 27,8 ºC (Elliott 1991). La température létale ultime pour les saumons juvéniles, définie comme la température que le poisson ne peut tolérer que pour de courtes périodes (habituellement 10 minutes), varie entre 30 et 33 ºC. La sensibilité thermique dépend de la taille si bien que les salmonidés adultes préfèrent les températures plus basses et sont moins tolérants aux températures élevées que les saumons juvéniles (Fowler et al. 2009). Ainsi, la température létale initiale et la température létale ultime des saumons

atlantiques adultes devraient être inférieures aux valeurs pour les saumons juvéniles; la température létale initiale du saumon adulte est vraisemblablement proche de 25 °C.

Le saumon atlantique adulte acclimaté à 23 °C a survécu pendant au moins trois jours et 70 % des poissons ont pu se rétablir après un exercice complet à cette température d'acclimatation (Wilkie et al. 1997). Toutefois, le saumon atlantique adulte a seulement survécu pendant une courte période à des températures de 24 à 27 °C (Huntsman 1946). Étant donné que le saumon adulte exposé à des températures supérieures à 24 °C n'a pas pu se remettre des effets de l'exercice complet et du métabolisme anaérobie, cela laisse entendre que ces températures sont au-dessus de la température critique (T_{crit}). Puisque certains saumons atlantiques ont pu se remettre d'un exercice complet à 23 °C, cela suggère que 23 °C est une température très proche du niveau de la T_{crit}.

Le stress lié à la température chez les saumons atlantiques juvéniles a été associé aux changements de comportement tels que l'abandon des territoires d'alimentation et les regroupements aux suintements d'eau fraîche (Breau et al. 2007, 2011). Il a été observé que les saumons juvéniles et adultes se rassemblaient à des sources d'eau fraîche lorsque la température de nuit minimale restait au-dessus de 20 °C pendant deux nuits consécutives. L'alimentation active a également cessé dans ces conditions d'eau chaude.

La température optimale pour la croissance est supposée similaire à celle qui offre le registre aérobie maximal. La température optimale pour la croissance des saumons juvéniles se situe entre 16 et 20 °C (Elliott et Elliott 2010). Le saumon atlantique anadrome adulte ne se nourrit pas en eau douce et la température optimale pour la croissance du saumon sauvage en mer est supposée correspondre aux températures correspondant aux taux de prises les plus élevés en mer, entre 4 et 10 °C (Reddin et Friedland 1993). Pour certaines espèces et populations de saumons du Pacifique, la température optimale pour la migration correspond aux températures de l'eau que les populations ont connu au cours de leur migration en amont (Farrell et al. 2008). Le saumon atlantique adulte retourne dans les rivières de l'est du Canada à diverses températures de l'eau des rivières, préférant apparemment migrer à des températures de l'eau situées entre 14 et 20 °C.

Seuils de température proposés

Approximations de la valeur T_{crit} pour le saumon atlantique adulte

D'après les études en laboratoire des poissons prélevés dans la nature, la valeur T_{crit} (où le taux métabolique basal est égal au taux métabolique actif et où le registre aérobie est nul) pour les saumons atlantiques juvéniles de deux ans a été estimée à 24 °C (Breau et al. 2011). La valeur T_{crit} pour les saumons atlantiques adultes n'a pas été mesurée, mais la capacité aérobie et la tolérance thermique des adultes sont plus faibles que celles des juvéniles, donc la valeur T_{crit} pour les saumons atlantiques adultes est sans aucun doute inférieure à 24 °C. Dans les études du taux de rétablissement du saumon atlantique adulte acclimaté et sujet à l'exercice jusqu'à épuisement à 18, 20 et 23 °C, il a été démontré que la plupart des effets physiologiques revenaient aux niveaux précédant l'épuisement (repos) après quatre heures ou plus, même si le retour à des niveaux de repos pour ces effets prenait plus de quatre heures lorsque les poissons étaient soumis à l'exercice jusqu'à épuisement à 20 °C (Wilkie et al. 1996, 1997). Dans ces études, il y a eu une mortalité différée, 40 % des saumons adultes sont morts lorsqu'ils ont été soumis à des températures de 20 et de 23 °C. Selon la fourchette de températures observée chez d'autres espèces de salmonidés, une valeur T_{crit} inférieure à 24 °C pourrait être supposée.

Approximations de la valeur T_{opt}

Chez les salmonidés, on a estimé que l'écart des températures T_{crit} et T_{opt} était de 6 à 7 °C. Il a été montré que la valeur T_{opt} pour le saumon du Pacifique correspondait à la fourchette de température de l'eau expérimentée pendant la migration en amont. D'après ce résultat, une approximation de la valeur T_{opt} pour le saumon atlantique adulte pourrait être estimée selon la température moyenne de l'eau expérimentée pendant la période de migration de juin et de juillet. Pour la rivière Miramichi, la température médiane de l'eau du 1er juin au 31 juillet sur une période de six ans (de 2005 à 2010) était de 19 °C (figure 3). Au cours de la même période pour la rivière Restigouche, la température médiane de l'eau pendant la migration aux mêmes mois et années était plus fraîche, elle était de 17 °C (figure 3). Cela laisse croire que la valeur T_{opt} peut être inférieure pour le saumon adulte dans la rivière Restigouche à celle pour le saumon adulte dans la rivière Miramichi.

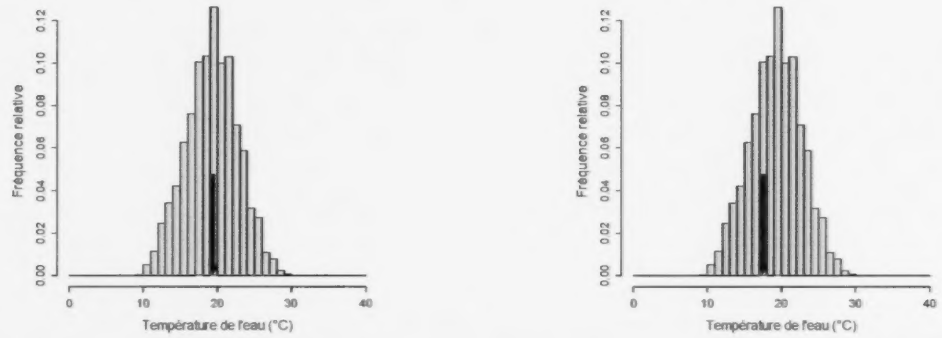

Figure 3 : Répartition de la température quotidienne moyenne de l'eau entre le 1er juin et le 31 juillet, période correspondant à la période de migration du saumon atlantique de montaison hâtive pour les années de 2005 à 2010 dans les rivières Miramichi (panneau de gauche) et Restigouche (panneau de droite). Les répartitions des températures ont été définies selon les enregistrements effectués à deux emplacements de chaque rivière. Les flèches pleines indiquent les températures médianes des répartitions.

Température minimale (T_{min}) comme seuil de gestion

L'étendue de l'activité d'un saumon atlantique adulte à des températures juste au-dessous de 23 °C est considérée comme très faible et le métabolisme anaérobie est requis pour maintenir les fonctions à des températures au-dessus de 23 °C. Le rétablissement est plus rapide à des températures proches de T_{opt}. Les fluctuations journalières des températures peuvent exposer les saumons atlantiques adultes à un stress thermique aboutissant à l'accumulation de sous-produits anaérobies. Bien que le saumon atlantique soit exposé à des températures dépassant 23 °C pendant la journée, il peut se rétablir si les températures de nuit descendent à des valeurs plus proches de T_{opt}, même pour de courtes périodes, par exemple pendant quatre heures. Après l'exercice jusqu'à épuisement, à 23 °C, le poisson au repos peut survivre pendant plusieurs jours et dans certains cas il peut revenir à un état de repos après l'exercice jusqu'à épuisement.

Les propositions de seuils sont basées sur les changements observés dans le comportement du saumon atlantique dans la nature et en laboratoire avec des réactions physiologiques mesurées du saumon adulte exposé à l'exercice à des températures élevées de l'eau. Une température minimale quotidienne de l'eau plutôt qu'une température maximale (selon les seuils de tolérance thermique du saumon) est proposée comme indicateur approprié du

rétablissement physiologique et de la survie. Les saumons atlantiques juvéniles de la rivière Little Southwest Miramichi se rassemblent à des sites d'eau fraîche lorsque la T_{min} dépasse 20 °C pendant deux nuits consécutives. Par conséquent, une valeur T_{min} de 20 °C est proposée comme seuil de température pour l'évaluation du stress physiologique pesant sur le saumon atlantique.

Caractéristiques de la température de l'eau des rivières Miramichi et Restigouche

La température de l'eau varie selon les échelles temporelles des heures, des jours, des saisons et des années. De plus, les conditions de température de l'eau peuvent être spatialement hétérogènes et associées à la taille, à la profondeur, à l'écoulement et à d'autres caractéristiques physiques de la rivière (p. ex. élévation, exposition du cours d'eau, inclinaison, etc.). Les caractéristiques de température de l'eau des rivières Miramichi et Restigouche ont été décrites selon les données recueillies à plus de trois douzaines d'emplacements dans ces rivières.

Il existe un schéma saisonnier des températures de l'eau bien défini (minimale, moyenne et maximale quotidienne) avec des valeurs crêtes pour chacune autour du 30 juillet (figure 4). Les températures les plus élevées sont constamment mesurées aux mois de juillet et d'août et lorsqu'elles coïncident avec les niveaux d'eau bas en été.

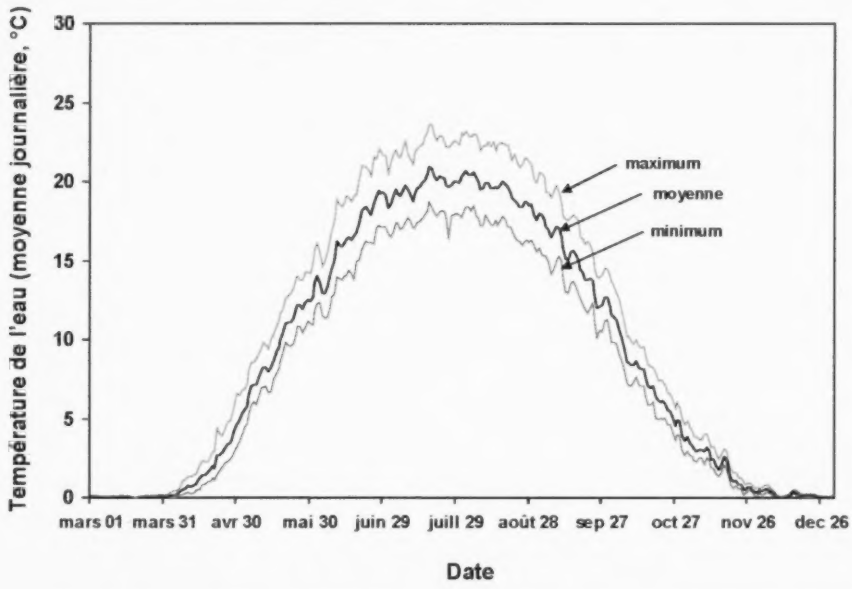

Figure 4 : Température quotidienne moyenne de l'eau (minimum, maximum et moyenne) au site de surveillance de la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest pour la période de 1992 à 2011.

En termes de cycle de température diurne, la température minimale de l'eau se présente le matin vers 9 h (heure avancée) et à ce site témoin (rivière Little Southwest Miramichi), elle est en moyenne 2,7 °C plus froide que la valeur moyenne pour le jour (figure 5). La température moyenne quotidienne de l'eau en journée a été observée vers 13 h et la température maximale de l'eau a été observée vers 19 h. La température maximale était en moyenne 2,8 °C plus chaude que la température moyenne quotidienne. Le schéma de la variabilité sur 24 heures peut varier en fonction du jour, de la saison et de l'année, et du site.

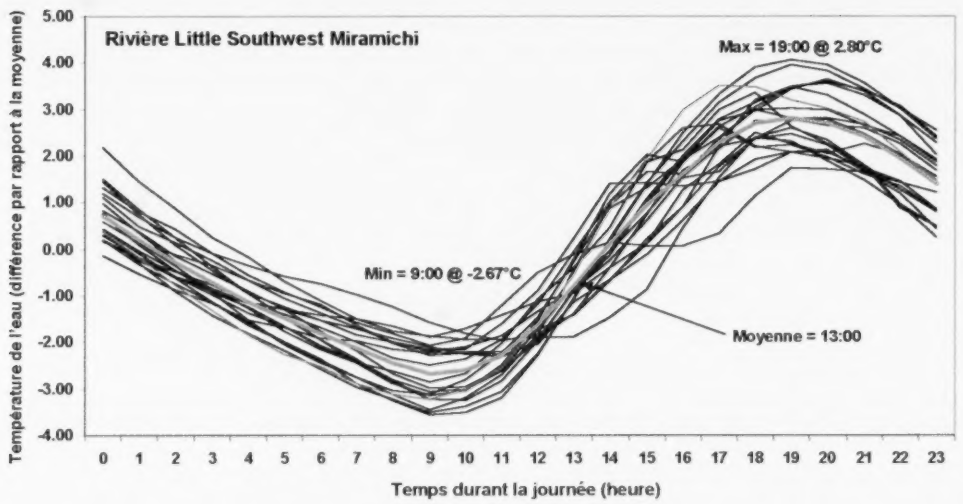

Figure 5 : Variabilité de la température de l'eau sur 24 heures au site de surveillance de la rivière Little Southwest Miramichi. La ligne pleine rouge représente la valeur moyenne pour tous les jours et les lignes individuelles noires représentent les valeurs quotidiennes du 3 au 25 juillet 1995 (au cours d'une période de température de l'eau élevée).

Il existe une hétérogénéité spatiale importante dans les profils de température au sein des sites et entre les sites des rivières Miramichi et Restigouche (figure 6). Les températures moyennes de l'eau en été (juillet et août) entre les sites variaient de 16,5 °C à 18 °C dans la rivière Miramichi tandis que les températures moyennes de l'eau en été étaient plus basses entre les sites de la rivière Restigouche, variant de 14,2 °C à 18 °C (figure 6). La différence entre la température minimale et la température maximale de l'eau était de 2,8 à 6,3 °C dans la rivière Miramichi; cette variation était moins importante dans la rivière Restigouche (2,1 à 4,3 °C).

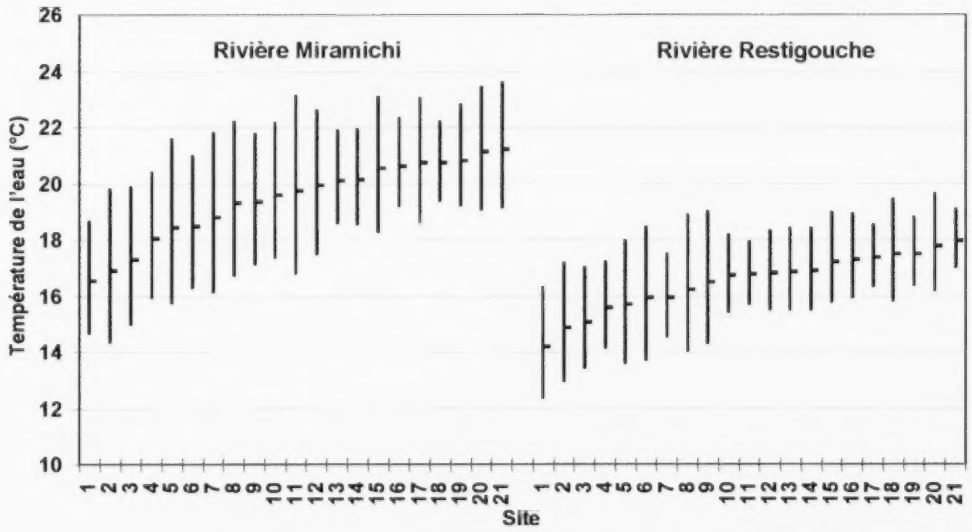

Figure 6 : Variation des températures à chaque site (écart entre les températures minimale et maximale, température moyenne) dans les rivières Miramichi et Restigouche. Les sites sont classés du plus froid au plus chaud pour chaque rivière.

Les températures moyennes de l'eau montrent une structure spatiale dans chaque rivière selon qu'elles sont relevées dans le tronçon principal ou les affluents et la distance (élévation) par rapport à l'estuaire (figure 7). Les températures de l'eau étaient beaucoup plus chaudes dans la rivière Miramichi, où la majorité des sites du tronçon principal (rivière Miramichi Sud-Ouest, Renous, rivière Miramichi Nord-Ouest et rivière Little Southwest Miramichi) sont caractérisés par des températures moyennes de l'eau supérieures à 20 °C (figure 7). Les sites de températures modérées (de 18 à 20 °C) se situaient dans les parties supérieures des sites du tronçon principal et des affluents tandis que les quelques sites d'eau froide (moins de 18 °C) se situaient dans les eaux d'amont des affluents. En comparaison, les températures moyennes de l'eau dans la rivière Restigouche sont inférieures à 18 °C (à l'exception des sites les plus bas du tronçon principal) et les sites les plus frais se trouvent dans les régions du cours supérieur et des affluents.

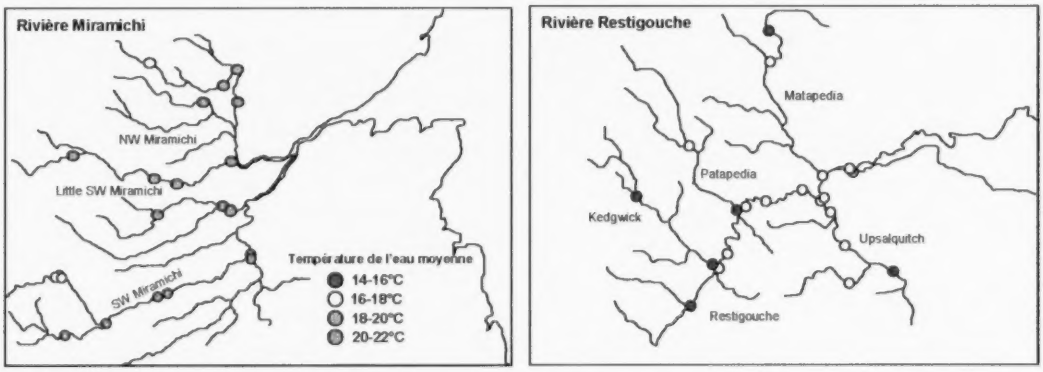

Figure 7 : Température moyenne de l'eau en été (juillet et août) aux sites surveillés dans les rivières Miramichi et Restigouche. Le nombre d'années varie entre les sites, mais l'ensemble de la période couverte s'étend de 1992 à 2010.

Étant donné le faible registre aérobie de l'activité du saumon atlantique adulte à 23 °C, le nombre de jours par an au cours desquels la température maximale quotidienne de l'eau (T_{max}) a dépassé 23 °C a été examiné à deux sites du tronçon principal des rivières; pour la rivière Little Southwest Miramichi des années 1992 à 2011 et pour la rivière Restigouche à Two Brooks durant les années 2003 à 2011. Il y a eu une nette différence dans le nombre de jours présentant des températures dépassant 23 °C entre les deux endroits (figure 8a). À une exception près, l'année 2008, la température au site de la rivière Little Southwest Miramichi a dépassé 23 °C au moins une fois au cours des mois d'été et le nombre de jours par an présentant des températures dépassant 23 °C était de 50 à 60. En comparaison, au site de la rivière Restigouche, il y a eu généralement moins de cinq jours et le plus souvent aucun jour présentant une température dépassant 23 °C (figure 8a).

Une valeur T_{min} de 20 °C est proposée comme seuil de température pour l'évaluation du stress physiologique pesant sur le saumon atlantique. La figure 8 (tableau b) indique également le nombre de jours par an au cours desquels la température minimale quotidienne de l'eau (T_{min}) a dépassé 20 °C pour ces deux endroits. La température minimale quotidienne est restée au-dessus de 20 °C chaque année à l'exception de 2008 dans la rivière Little Southwest Miramichi et cette tendance s'est maintenue pendant 25 jours en 1999 et en 2010 (figure 8b). Au site de la rivière Restigouche, la température minimale quotidienne a dépassé 20 °C au cours de quatre années sur neuf et le nombre maximal de jours par an était de 8 en 2005 (figure 8b). En 2010, les conditions d'eau chaude observées au site de la rivière Little Southwest Miramichi étaient beaucoup moins rigoureuses au site de la rivière Restigouche.

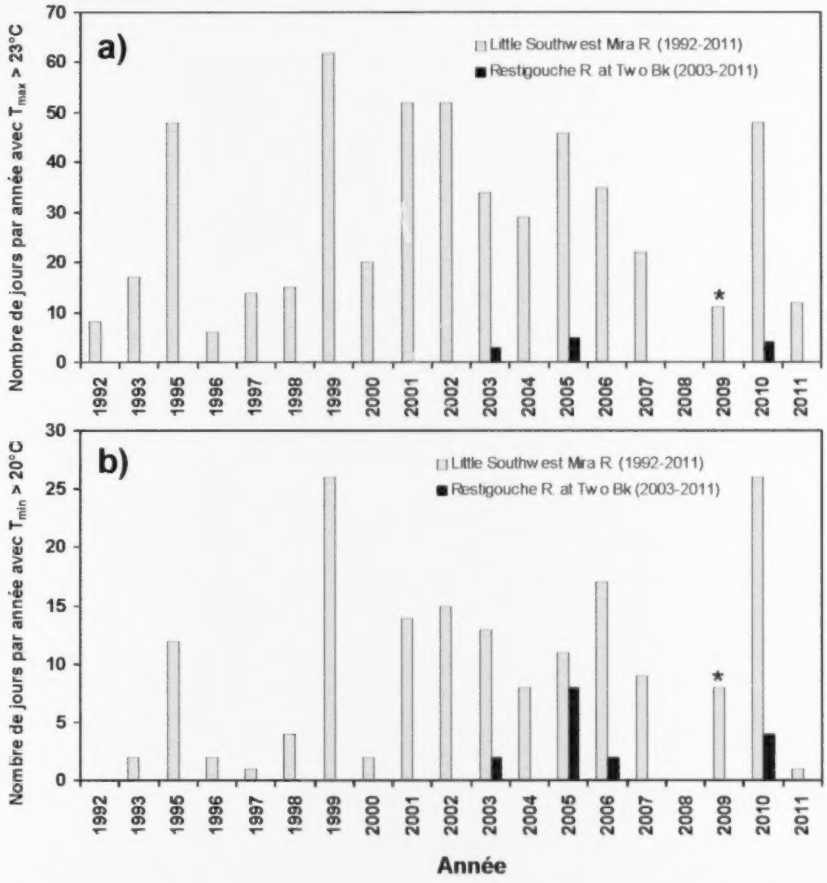

Figure 8 : Nombre de jours par année où a) la température maximale quotidienne de l'eau (T_{max}) a dépassé 23 °C et où b) la température minimale quotidienne de l'eau (T_{min}) a dépassé 20 °C dans la rivière Little Southwest Miramichi (de 1992 à 2011, à l'exclusion de 1994) et dans la rivière Restigouche à Two Brooks (de 2003 à 2011). L'astérisque (*) indique une année (2009) de données incomplètes.

Évaluation des scénarios de gestion selon les données historiques

Dans le but de réduire au minimum les risques physiologiques que le stress environnemental peut présenter pour les poissons, le seuil de température proposé consiste en une température et en une durée.

Le déclencheur de fermeture proposé est :

- lorsque la température minimale de l'eau (T_{min}) pendant deux jours consécutifs est égale ou supérieure à 20 °C.

Le déclencheur d'ouverture proposé est :

- lorsque la température minimale de l'eau (T_{min}) pendant deux jours consécutifs est inférieure à 20 °C.

La justification concernant le choix d'un seuil de température minimale est fournie ci-dessus. Le choix de deux jours comme indice de condition de stress physiologique pour le saumon atlantique est guidé par les études sur les réactions comportementales aux conditions d'eau

chaude. Ainsi, une température minimale qui dépasse toujours 20 °C pendant deux jours modifie le comportement des saumons atlantiques juvéniles, qui s'éloignent de la défense active des territoires d'alimentation pour trouver refuge en eau froide. Bien qu'en général, ces agrégations se séparent du jour au lendemain, une température minimale de l'eau qui tombe sous 20 °C pendant deux jours consécutifs après la condition de stress physiologique est proposée pour le rétablissement du poisson.

Les règles de décision proposées ont fait l'objet d'une évaluation rétrospective portant sur le nombre de fermetures et la durée des fermetures selon les données historiques de température prélevées à deux endroits dans la rivière Miramichi, soit à l'emplacement de surveillance de la rivière Miramichi Sud-Ouest (à Doaktown), de 2001 à 2011, et à celui de la rivière Little Southwest Miramichi (en amont du ruisseau Catamaran), de 1992 à 2011. On a supposé qu'une journée complète serait nécessaire pour mettre en vigueur et communiquer une fermeture une fois le déclencheur de fermeture activé et qu'une journée complète serait nécessaire pour procéder à une réouverture une fois le déclencheur d'ouverture activé. La surveillance des températures minimales était continue et, par conséquent, la durée minimale de fermeture une fois celle-ci déclenchée a été de deux jours.

Selon les données sur la température de la rivière Little Southwest Miramichi, entre 1992 et 2011 (à l'exclusion de 1994 en raison de l'absence de données), il y aurait eu au moins une fermeture dans 14 des 19 années (figure 9). Le nombre de fermetures annuelles varie de une à cinq (en 1999). Le total de jours de fermeture a varié entre 2 jours en 1993 et 23 jours en 1999 et 2010. Les températures de l'eau à l'emplacement de la rivière Miramichi Sud-Ouest (Doaktown) étaient plus chaudes qu'à celui de la rivière Little Southwest Miramichi. Selon les données de l'emplacement de surveillance de la rivière Miramichi Sud-Ouest, il y aurait eu des fermetures dans les huit années avec des données de surveillance (de 2001 à 2005 et de 2009 à 2011), et le nombre de fermetures par année aurait varié entre une et cinq (en 2011). Le total de jours de fermeture dans ces années aurait varié entre 9 et 29 jours (en 2002). Puisque les températures à la station de surveillance de la rivière Miramichi Sud-Ouest étaient plus chaudes que celles de la rivière Little Southwest Miramichi, il y aurait eu plus de fermetures annuelles, plus de fermetures par année et, en général, des fermetures plus longues lorsque l'emplacement de surveillance de la rivière Miramichi Sud-Ouest est utilisé. Au fil des ans, avec des données comparables, les différences dans les fermetures effectuées en 2011 étaient les plus prononcées entre les deux emplacements; les données prélevées à la rivière Miramichi Sud-Ouest ont déclenché cinq fermetures, mais aucune selon les données de l'emplacement de surveillance de la rivière Little Southwest Miramichi.

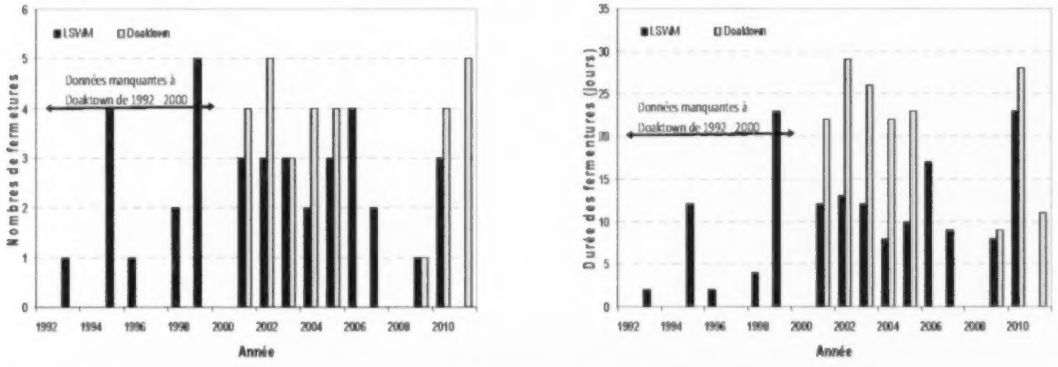

Figure 9 : Nombre de fermetures (graphique de gauche) et total de jours de fermeture (graphique de droite) d'après un déclencheur de fermeture de deux jours, un déclencheur d'ouverture de deux jours et un délai de gestion d'un jour pour la fermeture et l'ouverture. Aucune donnée à Doaktown entre 1992

et 2000. L'astérisque (*) indique les années sans données à la station de Doaktown et « a » indique les années sans données à la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest.

De plus, une mesure d'intérêt à l'égard du rendement est la durée entre les interventions de fermeture à l'intérieur d'une année. Les interventions de gestion en 2005 et 2010 menées en fonction des données de surveillance de la température de l'eau à la station de la rivière Miramichi Sud-Ouest sont indiquées dans la figure 10. En 2005, quatre interventions ont été initiées avec une courte ouverture de deux jours entre des fermetures successives vers la fin de juillet (figure 10). En 2010, quatre fermetures ont également été initiées, mais à l'exception de la première fermeture qui a duré 18 jours, la deuxième et la troisième ont été de courte durée (deux jours chacune) avec une période de six jours entre chacune. Il convient de noter que le nombre d'interventions et la durée des interventions et des périodes entre celles-ci pourraient être examinés rétrospectivement pour éclairer la gestion si la fréquence des fermetures et la durée étaient des facteurs d'intérêt.

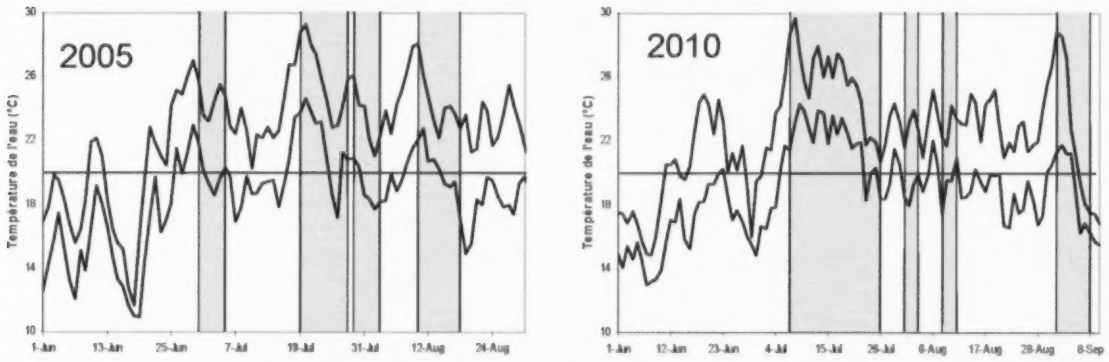

Figure 10 : Les températures minimales et maximales quotidiennes à la station de la rivière Miramichi Sud-Ouest (Doaktown) en 2005 (graphique de gauche) et 2010 (graphique de droite). Les sections ombrées représentent les jours où une intervention de gestion aurait eu lieu d'après les déclencheurs de fermeture et d'ouverture définis dans le texte. La ligne horizontale pleine représente une température de 20 °C.

Réussite de la pêche à la ligne du saumon atlantique par périodes d'eau chaude

Dans le cas du saumon atlantique, une température de 20 °C semble être le point d'inflexion au-delà duquel la mortalité découlant de la pêche à la ligne augmente rapidement lorsque les températures sont en hausse (Dempson et al. 2002). En général, les taux de prise sont inférieurs à des températures plus élevées (figure 11), mais des saumons sont capturés (figure 12), comme le démontrent les rapports de captures et d'efforts des pêcheurs des eaux réservées de la Couronne du Nouveau-Brunswick et les données correspondantes sur les températures provenant des emplacements de surveillance à proximité dans les rivières Miramichi et Restigouche. Même si la prise par unité d'effort était inférieure durant les périodes de températures les plus élevées, les captures de saumons atlantiques adultes ont été nombreuses.

La perte de saumons atlantiques associée à la hausse des mortalités de la pêche avec remise à l'eau pendant ces périodes d'eau chaude ne peut pas être évaluée, puisque les données de la pêche à la ligne ne sont pas recueillies à une échelle spatiale et temporelle adéquate chaque année. Des taux de mortalité de la pêche avec remise à l'eau de 3 % et de 6 % sont appliqués aux estimations annuelles de remise des prises à l'eau des rivières Miramichi et Restigouche,

respectivement. Les valeurs sont établies d'après les considérations générales de la période de montaison, des activités de pêche à la ligne pendant la saison et des variations saisonnières dans la température de l'eau. Une valeur plus élevée est utilisée pour la rivière Restigouche étant donné que cette population est également touchée par la furonculose, qui pourrait en soi contribuer à la mortalité dans des conditions de stress (eau chaude), mais qui pourrait être exacerbée par les activités de la pêche avec remise à l'eau.

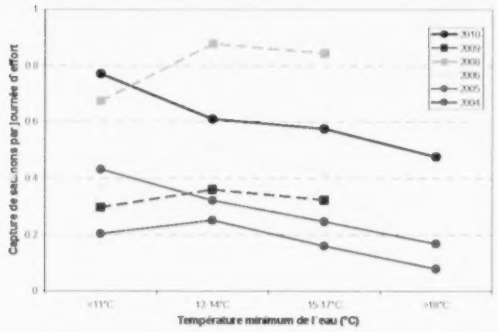

Figure 11. Prises de saumon atlantique (groupes de taille combinés) par effort de pêche en jour-pêcheur provenant des sections des eaux de la Couronne du Nouveau-Brunswick de la rivière Miramichi Nord-Ouest, telles qu'elles ont été consignées sur les déclarations de pêcheurs de 2004 à 2010 (à l'exclusion de 2007) par rapport aux températures nocturnes minimales de l'eau enregistrées en amont de ces sections de pêche. Le site de suivi de température, fosse du pont de Miramichi Nord-Ouest, est l'endroit où la température de l'eau est la plus froide dans la rivière Miramichi.

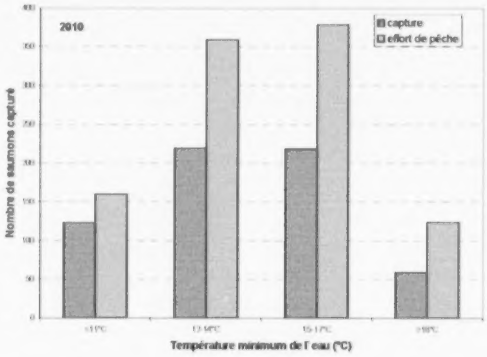

Figure 12 : Prises de saumon atlantique (groupes de taille combinés) et effort dans les eaux réservées de la Couronne du Nouveau-Brunswick (Adams, Charlie's Rock, Groundhog Landing et Squirrels Falls) de la rivière Miramichi Nord-Ouest en 2010 par rapport aux températures nocturnes minimales de l'eau enregistrées en amont de ces sections de pêche (fosse du pont de Miramichi Nord-Ouest). Ces sections de pêche sont situées dans un endroit de la rivière où les températures sont plus chaudes que celles à la fosse du pont de Miramichi Nord-Ouest.

Sources d'incertitude

Les seuils de température proposés sont fondés sur les considérations bioénergétiques des salmonidés. On en sait peu sur les températures optimales et critiques qui définissent le registre aérobie pour un saumon atlantique adulte, et des inférences ont été établies en fonction des preuves aux étapes de l'âge juvénile du saumon atlantique et d'autres espèces. Les températures de l'eau examinées à la migration du saumon atlantique adulte ont été utilisées pour calculer par approximation la valeur T_{opt}. Le résultat vient étayer le choix de 20 °C comme seuil de température pour favoriser le rétablissement des effets bioénergétiques qui sont essentiels à la survie. Des recherches ciblées sur la détermination des valeurs T_{opt} et T_{crit} pour le saumon atlantique adulte sont nécessaires pour confirmer que le seuil de 20 °C est approprié.

Une valeur seuil unique de température a été proposée. Les données obtenues des populations de saumon du Pacifique qui migrent dans le fleuve Fraser à différents moments de l'année révèlent que la période de montaison pourrait être adaptative et associée à des températures de l'eau correspondant à des valeurs T_{opt} propres à la population. La température médiane de l'eau dans la rivière Restigouche à la migration est de 2 °C plus froide que celle de la rivière Miramichi. Le seuil proposé de 20 °C pour le saumon atlantique est très près de la température médiane au moment de la migration dans la rivière Miramichi, mais il pourrait être trop élevé

pour le saumon de la rivière Restigouche. Au cours de certaines années, des mortalités de saumon adulte ont été remarquées dans la rivière Restigouche. Même si ces mortalités ont été le plus souvent attribuées à la maladie, il est possible que le pathogène ait été un stress secondaire survenu par suite de contraintes bioénergétiques ayant affaibli le poisson. Des recherches propres à la population permettraient d'éclaircir cette incertitude.

Des études en laboratoire sur des saumons atlantiques adultes soumis à l'exercice jusqu'à épuisement indiquent qu'un rétablissement peut se produire en moins de quatre heures chez les individus au repos dans de l'eau à température constante. La possibilité de rétablissement du saumon dans son milieu naturel pourrait être réduite, puisque l'habitat de refuge thermique peut être limitatif et que le comportement du poisson dans son milieu naturel impose des besoins d'énergie qui ne sont pas pris en compte dans les études en laboratoire. Le processus de rétablissement au stress post-thermique du saumon atlantique dans son milieu naturel n'a pas fait l'objet d'une étude.

La période de deux jours où la température de l'eau dépasse 20 °C comme température minimale pour déclencher une fermeture est fondée sur des observations de changements de comportement dans la population de saumon atlantique juvénile associés avec le stress de température de l'eau chaude. Le comportement du saumon atlantique adulte réagit également aux périodes d'eau chaude qui se sont manifestées pendant une durée semblable ou plus courte.

De même, on propose d'établir le déclencheur d'ouverture en fonction de deux jours consécutifs où la température minimale est inférieure à 20 °C. Ce déclencheur demande au moins une heure par jour pendant deux jours consécutifs où la température minimale aurait été inférieure à 20 °C. Le nombre minimal d'heures nécessaires pour permettre au métabolisme aérobique de se rétablir complètement, particulièrement lorsque la température fluctue, n'est pas connu. Le rétablissement est plus rapide lorsque le poisson peut trouver des températures qui sont le plus près de sa température optimale. Cette valeur peut varier selon la température d'acclimatation, la taille de l'individu et l'état de maturité. Le rôle que jouent ces facteurs n'a pas été vérifié chez le saumon atlantique adulte.

L'association entre les cycles quotidiens des températures et les taux d'accumulation et d'assimilation des sous-produits anaérobiques n'est pas connue. Des seuils précis et des déclencheurs pourraient être établis si le rapport fonctionnel entre ces indicateurs pouvait être défini; par exemple, si le taux d'accumulation des sous-produits anaérobiques est une fonction à croissance linéaire de la température au-dessus de la valeur T_{crit} et de même, si le taux d'assimilation des sous-produits est une fonction linéaire mais inverse de la température entre les valeurs T_{crit} et T_{opt}. Comme il est défini actuellement, le déclencheur de la réouverture suppose qu'une heure à n'importe quelle température inférieure à 20 °°C a une valeur équivalente pour un rétablissement et ne tient pas compte de la dette anaérobique associée avec le temps passé à des températures supérieures à la valeur T_{crit}.

La durée et la fréquence des périodes d'eau chaude peuvent varier, mais les conséquences des facteurs de stress cumulatifs associés aux événements multiples qui interviennent sur les processus vitaux du saumon atlantique, y compris la migration, le succès de la reproduction et la survie, n'ont pas été démontrées de façon empirique.

Les températures de l'eau sont actuellement surveillées à des emplacements déterminés dans les rivières Miramichi et Restigouche. Les enregistreurs de température ne sont pas situés dans des fosses de retenue à saumon connues et on ne sait pas si les températures auxquelles le saumon est directement exposé sont semblables à celles consignées aux stations de surveillance. Le saumon adulte peut ressentir les endroits où se trouvent des suintements d'eau

fraîche et s'y diriger, un comportement qui est semblable aux concentrations de saumon juvénile autour de tels refuges. Il existe des variations localisées dans les températures de l'eau qui sont attribuables à de petites infiltrations de courants d'eau froide et à des suintements d'eau souterraine, mais à quelques exceptions près, les échelles spatiales de ces refuges d'eau froide sont mal connues. Il est fort probable que les températures enregistrées aux emplacements de surveillance en eau peu profonde soient plus chaudes en général que celles où l'on trouve le saumon atlantique adulte. Toutefois, les températures sont généralement uniformes entre le haut et le bas de la colonne d'eau à l'intérieur des tronçons et des cours principaux des rivières Miramichi et Restigouche et lorsque le saumon est déplacé de ses sources d'eau froide limitées, il peut être exposé aux eaux plus chaudes dominantes de la rivière. Par conséquent, ces emplacements de surveillance représentent les pires conditions que le saumon adulte pourrait connaître au cours de son occupation de ces rivières et de sa migration dans celles-ci. Les emplacements et les caractéristiques des refuges thermiques du saumon adulte, particulièrement dans les tronçons principaux, doivent êtres examinés et documentés.

Le nombre de saumons vulnérables à la mortalité causée par des activités de pêche à la ligne dans des conditions d'eau chaude n'est pas connu. Les mortalités en rivière du saumon atlantique adulte ne sont pas systématiquement documentées dans les rivières Miramichi ou Restigouche, et les statistiques de pêche à la ligne à une échelle temporelle suffisante pour évaluer les effets potentiels de cette pêche ne sont pas disponibles. Dans le passé, une intervention de gestion liée à une fermeture en cours de saison était en réponse aux mortalités du saumon signalées dans certaines sections de rivière et à des préoccupations concernant des activités illégales lorsque les niveaux d'eau étaient bas. En 1999 et 2001, entre 200 et 500 mortalités ont été signalées dans une section localisée (d'environ 40 m) de la rivière Miramichi en rapport avec des conditions d'eau chaude et des faibles niveaux d'eau.

CONCLUSIONS

L'étendue de l'activité d'un saumon atlantique adulte à des températures juste au-dessous de 23 °C est considérée comme très faible et le métabolisme anaérobie est requis pour maintenir les fonctions à des températures au-dessus de 23 °C. D'après les changements de comportement observés chez le saumon atlantique dans son milieu naturel et les études en laboratoire portant sur des réactions physiologiques mesurées du saumon adulte exposé à l'exercice à des températures élevées de l'eau, une température minimale quotidienne de l'eau (T_{min}) de 20 °C est proposée comme seuil pour évaluer le stress physiologique chez le saumon atlantique. Ce seuil est la première de deux conditions pour définir les déclencheurs de seuil.

Pour définir les deux déclencheurs aux fins de gestion de la pêche récréative, la durée de la température de l'eau a été évaluée selon la période d'exposition du poisson et les réactions comportementales dénotées. Le déclencheur de fermeture est proposé comme une période de deux jours où la température minimale est supérieure à 20 °C et se fonde sur l'observation de changements de comportement importants chez les saumons atlantiques juvéniles, qui s'éloignent de la défense active des territoires d'alimentation pour se regrouper aux suintements d'eau fraîche.

À la suite de la condition de stress physiologique qui a entraîné la fermeture, une température minimale de l'eau qui tombe sous 20 °C pendant deux jours consécutifs est proposée comme déclencheur d'ouverture pour s'assurer qu'il y a au moins une heure par jour pendant deux jours consécutifs où les températures seraient plus près de la valeur T_{opt} pour le saumon atlantique adulte. Une approximation de la valeur T_{opt} pour le saumon atlantique adulte des rivières

Miramichi et Restigouche a été estimée selon la température moyenne de l'eau expérimentée pendant la période de migration de juin et de juillet. La température médiane de l'eau des rivières Miramichi et Restigouche était de 19 °C et de 17 °C respectivement. Cela laisse entendre que la valeur T_{opt} peut être inférieure pour le saumon adulte dans la rivière Restigouche à celle pour le saumon adulte dans la rivière Miramichi et que d'autres recherches sont nécessaires.

Il existe un schéma saisonnier bien défini des températures de l'eau dans les rivières où les températures de l'eau les plus élevées sont toujours relevées au cours des mois de juillet et août. Les températures moyennes de l'eau montrent une structure spatiale dans chaque rivière selon qu'elles sont relevées dans le tronçon principal ou les affluents et la distance (élévation) par rapport à l'estuaire. En général, les températures de l'eau étaient beaucoup plus chaudes dans la rivière Miramichi, où la majorité des sites du tronçon principal sont caractérisés par des températures moyennes de l'eau supérieures à 20 °C et des sites de températures modérées (de 18 à 20 °C) dans les parties supérieures des sites du tronçon principal et des affluents. En comparaison, les températures moyennes de l'eau dans la rivière Restigouche sont en général inférieures à 18 °C, les sites les plus frais se trouvant dans les régions du cours supérieur et des affluents.

Les sites du tronçon principal de la rivière Miramichi devraient atteindre les seuils de température chaude plus tôt dans l'année et plus souvent que ceux se trouvant dans la partie supérieure de la rivière. Peu d'endroits dans la rivière Restigouche devraient atteindre le seuil de la valeur T_{min} de 20 °C dans une année donnée.

Le rendement en matière de gestion des déclencheurs de fermeture et d'ouverture proposés a fait l'objet d'une évaluation rétrospective du nombre de fermetures et de la durée des fermetures au cours de la période allant de 1992 à 2011. Selon les données sur la température de l'emplacement de surveillance de la rivière Petite Miramichi Sud-Ouest, il y aurait eu au moins une fermeture dans 14 des 19 années entre 1992 et 2011, et le nombre de fermetures annuelles aurait varié de une à cinq. Le total de jours de fermeture a varié entre 2 jours en 1993 et 23 jours en 1999 et 2010. Un autre critère pour évaluer les règles de décision proposées pourrait tenir compte du nombre d'interventions et de la durée des interventions et des périodes entre celles-ci si la fréquence des fermetures et la durée sont des facteurs d'intérêt. Les options de gestion peuvent faire l'objet d'une évaluation rétrospective pour déterminer celle qui répond le mieux aux objectifs souhaités.

Les effets de la pêche à la ligne pendant les périodes d'eau chaude ont été pris en compte, puisque le taux de mortalité de la pêche à la ligne avec remise à l'eau augmente de façon marquée à des températures supérieures à 20 °C. D'autres activités humaines peuvent faire se déplacer le poisson et contribuer au stress qui pèse sur le saumon atlantique pendant les périodes d'eau chaude, notamment le passage à gué dans les cours d'eau, la baignade dans les fosses, le passage des bateaux et les activités scientifiques.

SOURCES D'INFORMATION

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 15 mars 2012 sur l'évaluation de seuils environnementaux permettant de définir les stratégies de gestion pour la pêche du saumon atlantique dans des conditions environnementales difficiles. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée lorsqu'elle sera disponible sur le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences du MPO à l'adresse suivante : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/index-fra.htm.

Breau, C., R.A Cunjak and G.G. Bremset. 2007. Age-specific aggregation of wild juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) at cool water sources during high temperature events. Journal of Fish Biology 71: 1-13.

Breau, C., R.A. Cunjak and S.J. Peake. 2011. Behaviour during elevated water temperatures: can physiology explain movement of juvenile Atlantic salmon to cool water? Journal of Animal Ecology. 80: 844-853.

Dempson, J.B., G. Furey, and M. Bloom. 2002. Effects of catch and release angling on Atlantic salmon, *Salmo salar* L., of the Conne River, Newfoundland. Fisheries Management and Ecology 9: 139-147.

Elliott, J. M. 1991. Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. Freshwater Biology 25, 61-70.

Elliott, J.M. and Elliott, J.A. 2010. Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta*, and artic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. Journal of Fish Biology 77: 1793-1817.

Farrell, A.P., Hinch, S.G., Cooke, S.J., Patterson, D.A., Crossin, G.T., Lapointe, M., and Mathes, M.T. 2008. Pacific salmon in hot water: Applying aerobic scope models and biotelemetry to predict the success of spawning migrations. Physiological and Biochemical Zoology 81: 697-709.

Fowler, S.L., D. Hamilton and S. Currie. 2009. A comparison of the heat shock response in juvenile and adult rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) – implications for increased thermal sensitivity with age. Canadian J. Fish. Aquat. Sci. 66: 91-100.

Gale, M.K., S. G. Hinch and M. R. Donaldson. 2011. The role of temperature in the capture and release of fish. Fish and Fisheries DOI: 10.1111/j.1467-2979.2011.00441.x

Huntsman, A. G. 1946. Heat stoke in Canadian Maritime stream fishes. Journal of Fisheries Research Board of Canada 6: 476-482.

Reddin, D.G., and K. D. Friedland. 1993. Marine environmental factors influencing the

movement and survival of Atlantic salmon. Ch. 4: pp. 107-103. In Derek Mills [ed.] Salmon in the sea and new enhancement strategies. Fishing News Books. 424 p.

Wilkie, M.P., Davidson, K., Brobbel, M.A., Kieffer, J.D., Booth, R.K., Bielak, A.T. and Tufts, B.L. 1996. Physiology and survival of wild Atlantic salmon following angling in warm summer waters. Transactions of the American Fisheries Society 125: 572-580.

Wilkie, M., M. Brobbel, K. Davidson, L. Forsyth, and B. L. Tufts. 1997. Influences of temperature upon the postexercise physiology of Atlantic salmon (*Salmo salar*).Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54: 503-511.

POUR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS

Communiquer avec : Cindy Breau
Direction des Sciences, Région du Golfe
Pêches et Océans Canada
C.P. 5030
Moncton, N.-B. E1C 9B6

Téléphone : 506-851-6238
Télécopieur : 506-851-2620
Courriel : cindy.breau@dfo-mpo.gc.ca

Ce rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Golfe
Pêches et Océans Canada
C.P. 5030
Moncton, N-B E1C 9B6

Téléphone : 506-851-6253
Télécopieur : 506-851-2620
Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs

ISSN 1919-5109 (Imprimé)
ISSN 1919-5117 (En ligne)
© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2012

An English version is available upon request at the above address.

LA PRÉSENTE PUBLICATION DOIT ÊTRE CITÉE COMME SUIT :

MPO. 2012. Seuils de température permettant de définir les stratégies de gestion pour la pêche du saumon atlantique (*Salmo salar*) dans des conditions environnementales difficiles. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2012/019.